

9.Шутенко Л.Н. Технологические основы формирования и оптимизации жизненного цикла городского жилого фонда: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.08. – Харьков, 2002. – 550 с.

*Отримано 16.09.2009*

УДК 693.54 : 022.5

Е.В.КОНДРАЩЕНКО, д-р техн. наук, А.А.КАЧУРА, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

В.И.КОНДРАЩЕНКО, д-р техн. наук, С.В.ГУЗЕНКО

*Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)*

В.Н.ЯРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

*Научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ), г.Москва*

### **РОТАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА**

Приведены сведения по ротационной технологии для строительства автомобильных дорог из бетона на цементном вяжущем. Показана перспективность применения в дорожном строительстве конструкционных бетонов на пористых заполнителях.

Наведено відомості про ротатійну технологію для будівництва автомобільних доріг з бетону на цементному в'язучому. Показана перспективність використання у шляховому будівництві конструкційних бетонів на пористих заповнювачах.

Data on rotational technologists for building of highways from concrete on the cementing agent are resulted. Perspectivity of application in road building of constructional concrete on porous aggregates is shown.

*Ключевые слова:* ротационная технология, автомобильные дороги, бетон на пористых заполнителях.

Современное состояние сети автомобильных дорог как в России, так и на Украине не удовлетворяет современным требованиям вследствие роста интенсивности движения и увеличения колесной нагрузки с 60-100 кН под нагрузку на ось не менее 115-130 кН. При таких условиях толщина конструктивных слоев дорожной одежды должна быть на дорогах I-II категорий практически в два раза больше, чем в соответствии с нормативами 10-20-летней давности.

На магистральных автомобильных дорогах нежесткие дорожные одежды с асфальтобетонным покрытием составляют 97%, и только 3% дорог имеют цементобетонные покрытия. В то же время около 40% протяженности дорог с нежесткими одеждami эксплуатируются с заметной колеей, что является одним из признаков истощения их несущей способности. Постоянно растут объемы недоремонта нежестких дорожных одежд, что можно предотвратить только путем массового строительства дорожных одежд с цементобетонными покрытиями,

имеющими срок службы более 30 лет.

К преимуществам цементобетонных покрытий относятся:

- большая прочность цементобетона в сравнении с асфальтобетоном;
- стабильность деформативных свойств при изменении температуры;
- рост прочности цементобетона во времени при надлежащем за ним уходе;
- доступность оборудования для скоростного строительства бетонных покрытий с высокими показателями ровности;
- высокая морозостойкость бетона при применении модификаторов;
- срок службы покрытий до капитального ремонта при высоком качестве строительства может достигать 50 лет;
- стабильность коэффициента сцепления покрытия с колесами автомобилей.

Современные тенденции развития конструкций жестких дорожных одежд определяются следующими факторами:

- возрастающими требованиями современного автомобилестроения к качеству дорожных покрытий;
- резким ростом общей численности парка автомобилей страны (например, в России за период 1991-2025 гг. – в 4,0-5,5 раз, грузовых автомобилей – в 4,8 раз);
- в сопоставимых условиях эксплуатации жесткие дорожные одежды имеют в среднем в 1,6-2,0 раза более продолжительный срок службы, чем нежесткие;
- современные возможности дорожно-строительной техники и создание новых дорожно-строительных материалов, например, таких, как модифицированные высококачественные цемента-, фибро- и полимербетоны и др.;
- необходимость создания оснований дорог, стабильно работающих на растяжение при изгибе в течение всего срока службы до капитального ремонта дорог.

В мировой практике используются две различные технологии строительства цементобетонных покрытий и оснований – в рельс-формах и скользящей опалубке. Рельс формы служат рельсовым путем для колесных самоходных машин бетоноукладочного комплекта и одновременно опалубкой для бетона. В этот комплект кроме машин, осуществляющих распределение, уплотнение и отделку бетона, могут входить также машины для устройства деформационных швов, нанесения пленкообразующих материалов с целью ухода за бетоном, монтажа и демонтажа рельс-форм. При этом операции по уплотнению и отделке бетона выполняют специальные рабочие органы бетоноуклад-

дочной машины.

Безрельсовая укладка бетона в покрытия автомобильных дорог производится бетоноукладчиками со скользящими формами, рабочие органы которых выполняют за один проход машины распределение и уплотнение бетонной смеси, отделку поверхности бетона, а также устройство деформационных швов. Полная автоматизация основных процессов укладки, однопроходный режим работы, отказ от трудоемких операций по монтажу и демонтажу рельс-форм позволяют резко повысить эффективность строительных работ – улучшить ровность покрытия, увеличить производительность укладки, снизить стоимость и трудоемкость работ.

Альтернативой применяемому при этом виброуплотнению, по-видимому, является набрызг-бетонирование. В настоящее время получили распространение в основном три способа набрызга: “сухое”, мокрое торкретирование и шприц-бетонирование. Общим для всех этих способов является наличие дифференциальной и интегральной стадии процесса. На дифференциальной стадии исходные компоненты преобразуются в поток дискретных частиц, пребывающих некоторый промежуток времени в состоянии свободного полета, а на интегральной стадии из отдельных частиц формируется слой бетона. Однако, так как транспортировка составляющих растворной или бетонной смеси осуществляется сжатым воздухом, то, из-за разницы в плотности воздуха и транспортируемых им неорганических частиц, необходимая степень уплотнения смеси достигается при высоких энергозатратах.

Этих недостатков лишена ротационная технология уплотнения цементных систем, при которой набрызг осуществляется, как правило, двумя встречно вращающимися роторами, вдоль образующих которых расположены пластины, захватывающие порции смеси и набрасываемые на формуемую поверхность, в момент соприкосновения с которой кинетическая энергия частиц смеси преобразуется в энергию ее формообразования. Как показано в работах М.Г.Дюженко, И.А.Емельяновой [1, 2] и других исследователей, ротационную технологию укладки растворных и бетонных смесей отличает более низкие металло- и энергоемкость в сравнении с виброуплотнением, применяемым, в частности, при строительстве цементобетонных автомобильных дорог.

Металлические роторы при вращении с высокой скоростью могут вызывать дробление плотного заполнителя и изменение не только гранулометрического, но и фракционного состава заполнителя, увеличивая содержание мелкой фракции. Для пористого заполнителя такие режимы с использованием металлических роторов неприемлемы, так как приведут к его недопустимо высокому измельчению, а при более

низких скоростях не будет достигнута необходимая степень уплотнения смеси. Решение может быть достигнуто при применении так называемых эластичных роторов, принципиальная схема которых в составе узла формирования показана на рис.1.

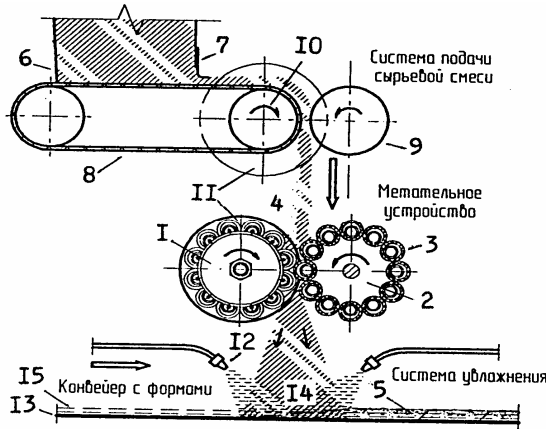


Рис.1 – Схема узла формирования [3] (см. пояснения в тексте)

Основным рабочим органом узла является двухроторная металлическая головка, лопастные роторы которой 1 и 2 вместо металлических лопастей, оснащены эластичными трубчатыми элементами 3, установленными параллельно образующей. При этом роторы смонтированы так, что они непрерывно взаимодействуют между собой во всех фазах перемещения друг относительно друга. Такое решение уменьшает захват воздушных масс, а перемещение смеси производится путем заземления ее элементарными порциями в полостях 4 между роторами, образующимися в те моменты, когда выступающий трубчатый элемент одного ротора совпадает при вращении с промежутком между двумя соприкасающимися элементами другого ротора.

Для обеспечения заданной геометрической формы и размеров формируемого изделия, в данном случае автомобильного полотна 5, элементарные порции смеси, выбрасываемые из рабочего пространства роторов, должны быть строго идентичны между собой. Для этого в конструкции формирующего узла (рис.1) используется система подачи с повышенной точностью дозирования, состоящая из расходного бункера 6 с регулирующей заслонкой 7, ленточного транспортера 8 и калибрующего барабана 9. Кроме того, для ограничения бокового рассеивания сырьевой смеси, приводной барабан 10 транспортера 8 и лопа-

ной ротор 2 со стороны разгрузочного конца транспортера, снабжены ребордами 11.

Для точной регулировки постоянства водосодержания, узел формования снабжен системой вторичного доувлажнения, осуществляемого путем распыления воды форсунками 12.

Таким образом, вода затворения вводится в два этапа. На первом этапе в процессе предварительного перемешивания смеси при подготовке ее к формированию роль воды заключается в обеспечении предварительного смачивания сухих компонентов, устраняя таким образом пылеобразование. При этом смесь еще не теряет своих сыпучих свойств и на дальнейшую машинную переработку поступает в полусухом состоянии, не налипая на рабочих органах устройств, контактирующих со смесью в процессе выполнения отдельных технологических операций в зоне действия узла формования.

На втором этапе вода, распыляемая форсунками с образованием аэрозоля, вводится непосредственно в состав дискретного потока, до соударения элементов потока с бетонируемой поверхностью дорожного основания 15 или поверхностью укладываемого слоя 14. В момент соударения наиболее мелкие частицы – зерна цемента и капли аэрозоля, слипаются между собой, образуя на бетонируемой поверхности слой матрицы, в которую втапливаются зерна заполнителя.

Блок-схема математической модели узла формования, представленного на рис.1, приведена на рис.2. Здесь в качестве основного параметра принят размер внешнего радиуса трубчатого элемента  $r_{эл}$ . Число трубчатых элементов  $N$  выбирается из ряда, приведенного в составе модели на рис.2. Все остальные параметры – величина угла  $\alpha$  между лучами, проведенными из центра ротора к центрам двух смежных трубчатых элементов; радиус делительной окружности выступов  $R_{овис}$ ; радиус делительной окружности впадин  $R_{овн}$ ; радиус дуг  $r_{вп}$ , ограничивающих впадины; внешний радиус ротора  $R_e$ ; длина прямолинейных участков криволинейной замкнутой линии  $h$ , форму которой принимают трубчатые элементы в смонтированном состоянии; расстояние между центрами роторов  $A$ , выбирается по алгоритму, показанному на рис.2.

Экспериментальная проверка опытно-промышленного образца устройства была проведена в лаборатории НИСа ХНАГХ в содружестве с Московским государственным университетом путей сообщения (МИИТ). Были приняты следующие значения основных параметров устройства: внешний радиус роторов  $R_e = 135$  мм; число элементов

$N = 12$ ; радиус трубчатого элемента  $r_{эл} = 28$  мм; межроторное расстояние  $A = 260$  мм. Частота вращения роторов варьировалась в пределах 1000-5000 об/мин. При этом окружная скорость, а, следовательно, и скорость частиц дискретного потока составляла 15-45 м/с.

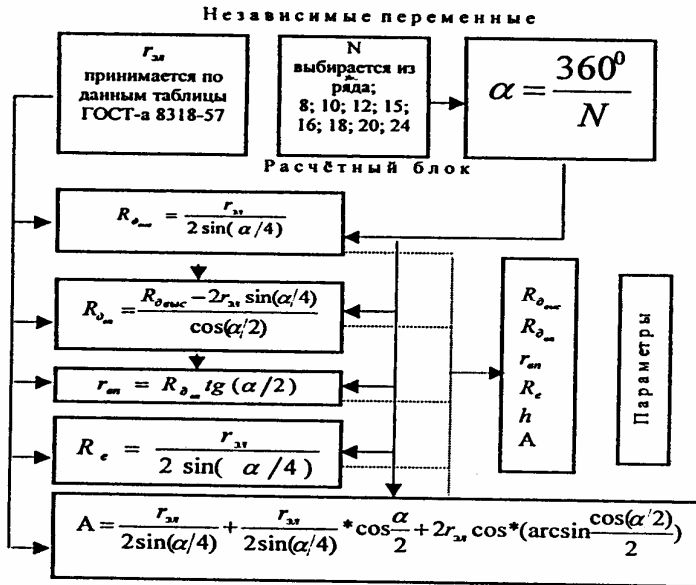


Рис.2 – Блок-схема расчета конструктивных параметров метательного устройства (см. пояснения в тексте)

Проведенными испытаниями метательного устройства в его новом конструктивном исполнении были выявлены и подтверждены на практике следующие положительные свойства, присущие этому виду технологического оборудования:

- повышается производительность устройства, так как при замене лопастей (или сплошного эластичного слоя) венцом из отдельных трубчатых элементов, появляется возможность, варьируя параметрами роторов (диаметром в пределах 250-550 мм и частотой вращения от 1000 до 3000 об/мин) задавать производительность от нескольких кубометров до десятков кубометров в час;
- уменьшаются удельные энергозатраты, благодаря весьма малому промежутку времени взаимодействия элементарной порции бетонной смеси с метательным устройством, например, при диаметре ро-

тора 270 мм и частоте вращения 1000 об./мин время взаимодействия ротора со смесью около 0,0025 с, при этом удельные энергозатраты составляют 0,4-0,6 кВт·ч/м<sup>3</sup>;

- достигается равномерность подачи перерабатываемой смеси к бетонируемой поверхности, при этом уменьшается перемещение воздушных масс, образующих вихри, так как роторы постоянно контактируют между собой, меньше увлекают за собой воздуха при вращении;
- обеспечивается укладка смесей повышенной жесткостью от 30 до 60 и даже 120 с при соблюдении равномерности распределения смеси в укладываемом слое бетона по всей ширине бетонируемой полосы;
- улучшается экологическая обстановка в зоне действия метательного устройства в связи с устранением пыли в окружающем пространстве, а также вибрации на рабочих местах, благодаря чему достигаются социально-привлекательные условия труда обслуживающих рабочих;
- повышается экономичность процесса, так как прекращается унос мелких частиц с воздушным потоком, в состав которых попадают в основном зерна цемента, кроме того уменьшаются потери в отскоке за счет возврата и погружения в формируемый слой отраженных частиц.

В дополнение к вышесказанному применение эластичных роторов позволяет проводить уплотнение бетонных смесей на пористых заполнителях, так как в этом случае устраняется эффект их дробления роторами при сохранении необходимой степени уплотнения.

Преимущества применения легких бетонов в конструкциях дорожных одежд достигаются за счет более высокой (на 15-20%) ударной вязкости и большей (на 16-19%) предельной сжимаемости этих бетонов при действии динамических нагрузок в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами [3, 6, 8, 10].

Применение легкого бетона вместо тяжелого для автомобильных дорог целесообразно также с позиций обеспечения требуемой высокой долговечности и надежности в эксплуатации таких конструкций. Обусловлено это известными преимуществами легких бетонов в основных показателях долговечности в сравнении с равнопрочными тяжелыми: морозостойкость выше на 2-5 марок, а водонепроницаемость – на 1-3 марки. Это обеспечивается, в основном, более прочной контактной зоной легкого бетона вследствие механического сцепления цементно-песчаного камня с пористым заполнителем при кольматации пор цементным тестом и, для ряда заполнителей, за счет химического взаи-

модействия активной поверхности заполнителя с продуктами гидратации цемента [5, 7, 9, 11].

Что касается повышенной стойкости легких бетонов к воздействию на них антигололедных солевых растворов, то объясняется это, в первую очередь, их известной пониженной диффузионной проницаемостью по отношению к содержащимся в такой среде ионам  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  растворов соответствующих солей. Подтверждение тому – опыт многолетней (более 30 лет) успешной эксплуатации опор мостов в районах морских побережий Норвегии и Исландии, а также применения легкого бетона при строительстве нефтяных платформ в северных морях [6, 7].

Наконец, немаловажным преимуществом применения легких бетонов при строительстве цементобетонных автомобильных дорог является возможность рационального использования в них низкоэнергоемких и относительно недорогих пористых заполнителей, изготавливаемых из продуктов переработки техногенных отходов (например, зол и шлаков тепловой энергетики, шлаков черной и цветной металлургии, отходов углеобогащения и др.), а также из горных пород вулканического или осадочного происхождения и других местных материалов. Себестоимость легких бетонов на таких заполнителях на 15-25% ниже себестоимости равнопрочных тяжелых бетонов. Доля их применения в странах Западной Европы, США, Канаде достигает 30% и наблюдается устойчивая тенденция к ее увеличению в связи с жестким ограничением государственными органами разработки карьеров для производства природных заполнителей [11].

Таким образом, выполненный анализ показывает целесообразность и экономическую эффективность применения легких конструкционных бетонов, особенно новых модификаций, вместо равнопрочных тяжелых бетонов на природных плотных заполнителях для строительства цементобетонных автомобильных дорог. Для этого имеются как необходимая сырьевая база, так и принципиально новая технология ротационного уплотнения бетонных смесей с использованием эластичных роторов.

1.Дюженко М.Г., Кацман А.Я., Барчук А.С., Павлов А.П. Набрызг-бетонные работы в строительстве. – К.: Будівельник, 1980. – 129 с.

2.Емельянова И.А., Плоскин В.С. Механический набрызг бетона // Промышленное строительство и инженерные сооружения. – 1980. – № 3. – С.8-10.

3.Гусев Б.В., Кондращенко В.И., Дюженко М.Г., Носальский С.А. Метательное устройство для укладки и уплотнения бетонных и других строительных смесей. – Патент России № 2217302. Бюл. № 33, 2003.

4.Деллос К.П. Керамзитобетон в мостостроении. – М.: Транспорт, 1976. – 212 с.

5.Легкие бетоны. Проектирование и технология. Руководство СЕВ/FIP: Пер. с



англ. / Под ред. В.Н.Ярмаковского. – М.: Стройиздат. – 1981. – 187 с.

6.Holm T.A. Long-term Service Performance of Lightweight Concrete Bridge Structures. Proceedings of International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete. – Norway. – 1995. – 308 p.

7.Lightweight Aggregate Concrete. Recommended extensions to Model Code 90. International Federation for Structural Concrete (fib). Task Group 8.1. – Stuttgart, 2000. – 258 p.

8.Ярмаковский В.Н., Булаев В.А., Садов Б.В.. Закономерности разрушения легких бетонов при динамическом сжатии // Сб. трудов МАДИ. – М.: МАДИ, 1987. – С.46-53.

9.Чиненков Ю.В., Ярмаковский В.Н. Легкие бетоны и конструкции из них // Бетон и железобетон. – 1997. – № 5. – С.7-9.

10.Кондращенко В.И. Технологии и свойства высокопрочного шлакопемзобетона: Автореф....канд. техн. наук. – М.: НИИЖБ, 1981. – 24 с.

11.Ярмаковский В.Н., Бремнер Т.У. Легкий бетон: настоящее и будущее // Строительный эксперт. – 2005. – № 20, 21. – С.3-4.

*Получено 21.09.2009*

УДК 624.015.5

О.І.ЛАПЕНКО, канд. техн. наук

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **ПРОЕКТУВАННЯ Й ВИПРОБУВАННЯ РИГЕЛЯ ПОКРИТТЯ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ В НЕЗНІМНІЙ ОПАЛУБЦІ**

Наведено характеристику запроектованого сталезалізобетонного ригеля покриття промислової будівлі та результати його випробування в умовах виробництва.

Приведена характеристика запроектованого сталезалізобетонного ригеля покриття промислового будівлі та результати його випробування в умовах виробництва.

The characteristics of designed steel and reinforced concrete bar of an industrial building covering and the results of its testing in production conditions are presented.

*Ключові слова:* ригель, сталезалізобетон, незнімна опалубка.

Сталезалізобетонні ригелі, що виготовляються в незнімній опалубці, мають важливі переваги порівняно зі сталевими і залізобетонними балками. Рациональне використання переваг і уникнення недоліків будівельних матеріалів дають змогу зменшити вагу і матеріалоемність конструкції, спростити процес виготовлення і зробити його більш технологічним, підвищити несучу здатність конструкції, досягти економічного ефекту. Для елементів, що згинаються, очікуваний результат досягається при об'єднанні для сумісної роботи сталевих балок, яка сприймає зусилля розтягу, стиснутого сталезалізобетонного поясу і залізобетонних плит (в покриттях і перекриттях).

Суть запропонованої конструкції, на яку було отримано патент № 26142 [1], полягає у застосуванні в якості стиснутого поясу ригеля сталезалізобетонного елемента – залізобетонної полиці в незнімній